doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2203081

论著·临床研究

床旁经颅多普勒超声评估儿童神经危重症患者颅内压的临床价值

张涛　刘春峰

（中国医科大学附属盛京医院儿内科儿童重症监护病房，辽宁沈阳　110004）

［摘要］**目的**　研究床旁经颅多普勒超声（transcranial doppler，TCD）在评估儿童重症监护病房（pediatric intensive care unit，PICU）神经危重症患儿颅内压（intracranial pressure，ICP）水平中的应用价值。**方法**　前瞻性纳入2020年11月至2021年11月入住中国医科大学附属盛京医院PICU的神经危重症患儿进行研究。纳入病例行床旁TCD检查，计算搏动指数（pulsatility index，PI）；之后行床旁腰椎穿刺术，测量ICP。采用Pearson相关分析法行PI值与ICP值的相关性分析。采用受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线评价PI诊断ICP增高（≥20 mm Hg）的价值。**结果**　56例儿童神经危重症患儿纳入研究。颅内感染（24例，43%）、颅脑创伤（11例，20%）及脑血管疾病（5例，9%）的占比居原发病前3位。Pearson相关分析显示，PI和ICP呈显著正相关（r=0.536，P<0.001）。按原发病分组研究，显示颅脑创伤组PI与ICP呈显著正相关（r=0.655，P=0.029），而颅内感染组PI与ICP无显著相关性（r=0.324，P=0.122）。ROC曲线分析显示，PI预测神经危重症患儿ICP是否≥20 mm Hg的曲线下面积为0.828（95%*CI*：0.677~0.979）；PI=1.255为最佳临界值，预测ICP≥20 mm Hg的灵敏度为83.3%，特异度为79.5%。**结论**　TCD监测ICP技术可以用来预测神经危重症患儿ICP变化情况，以指导临床治疗和预后评估。［中国当代儿科杂志，2022，24（9）：973-978］

［关键词］经颅多普勒超声；搏动指数；颅内压；儿童

Clinical value of bedside transcranial doppler ultrasound in assessing intracranial pressure in critically ill pediatric patients with nervous system disease

ZHANG Tao, LIU Chun-Feng. Pediatric Intensive Care Unit, Department of Pediatrics, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, China (Liu C-F, Email: zhliu258@163.com)

Abstract: Objective　To study the value of bedside transcranial doppler (TCD) in evaluating the level of intracranial pressure (ICP) in critically ill pediatric patients with nervous system disease in the pediatric intensive care unit (PICU). **Methods**　A prospective analysis was performed on the critically ill pediatric patients with nervous system disease who were admitted to the PICU of Shengjing Hospital, China Medical University, from November 2020 to November 2021. Bedside TCD was performed on all patients, and pulsatility index (PI) was calculated. Bedside lumbar puncture was performed to measure ICP. A Pearson correlation analysis was used to assess the correlation between PI and ICP. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to assess the value of PI in the diagnosis of elevated ICP (≥20 mm Hg). **Results**　A total of 56 children were included in the study. The top three primary diseases were intracranial infection (24 children, 43%), traumatic brain injury (TBI) (11 children, 20%), and cerebrovascular disease (5 children, 9%). The Pearson correlation analysis showed that PI was positively correlated with ICP (r=0.536, P<0.001). The subgroup analysis based on primary disease showed that in the TBI group, PI was positively correlated with ICP (r=0.655, P=0.029), while no significant correlation between PI and ICP was observed in the intracranial infection group (r=0.324, P=0.122). The ROC curve analysis showed that PI had an area under the curve of 0.828 (95%*CI*: 0.677-0.979)

［收稿日期］2022-03-15；［接受日期］2022-06-02
［基金项目］辽宁省科技重大专项计划（2020JH1/10300001）；沈阳市科技计划项目（20-205-4-002）；中国医科大学附属盛京医院345人才工程。
［作者简介］张涛，男，博士，副主任医师。
［通信作者］刘春峰，男，教授。Email：zhliu258@163.com。

in predicting ICP≥20 mm Hg, with a sensitivity of 83.3% and a specificity of 79.5% at the optimal cut-off value of 1.255. **Conclusions** TCD technology for ICP monitoring can predict the change in ICP in critically ill pediatric patients with nervous system disease, suggesting it is useful for treatment options and prognosis evaluation.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2022, 24(9): 973-978]

Key words: Transcranial doppler ultrasound; Pulsatility index; Intracranial pressure; Child

颅内压（intracranial pressure，ICP）是颅腔内容物对颅腔壁产生的压力，神经危重症患者易出现ICP升高，当ICP升高到一定程度，超过机体调节能力范围后，会出现脑血流下降、脑组织缺血缺氧，甚至出现脑疝导致呼吸循环衰竭死亡。国内外大量研究证实ICP的日常监测对于神经危重症患者的治疗管理和预后判断均有重要意义。2019年美国制定了关于儿童创伤性脑损伤（traumatic brain injury，TBI）的诊治指南，推荐将儿童TBI患者的ICP控制在20 mm Hg以内，以改善此类患儿的预后[1]。ICP的监测分为有创和无创监测技术，有创监测技术包括脑室内、脑实质内、硬膜下、硬膜外及腰椎穿刺测压等方式。其中脑室内ICP监测最为准确，是判断ICP水平的金标准，但有创测压均有损伤、出血、感染、脱管等风险，且在非手术患者中应用有限[2]。

无创ICP监测常用技术包括经颅多普勒超声（transcranial doppler，TCD）、视神经鞘直径测量（optic nerve sheath diameter，ONSD）、闪光视觉诱发电位（flash visual evoked potential，FEVP）等[3-4]。相较于有创ICP监测技术，无创ICP监测技术并不成熟和精确，但已有一些研究证实其与有创ICP监测结果具有良好的相关性[5-8]。其中TCD是利用超声多普勒效应来检查颅内动脉血流动力学及血流生理参数的一项技术，具有无创性、快捷、方便、费用低、可动态监测等一系列优点[5]。TCD监测的脑血流动力学包括参数及频谱形态两方面，其具体参数包括：收缩期峰值血流速度（flow velocity of systolic，FVs）、舒张期峰值血流速度（flow velocity of diastolic，FVd）、平均血流速度（flow velocity of mean，FVm）、搏动指数（pulsatility index，PI）及阻力指数（resistance index，RI）。其中PI=（FVs-FVd）/FVm，主要反映脑血管远端血流灌注情况；RI=（FVs-FVd）/FVs，可间接监测远端血管阻力[5]。有研究发现PI可较为准确反映成人TBI患者ICP实时变化[6-8]，但关于PI在儿童神经危重症患者中的相关研究却较为缺乏。

本研究收集了我院儿童重症监护病房（pediatric intensive care unit，PICU）近1年的神经危重症患儿的临床资料，利用TCD日常监测此类患儿ICP情况，并结合有创腰椎穿刺测压结果，评估利用TCD中的监测指标PI预测ICP的临床价值，为PICU神经危重症患儿的治疗管理和预后判断提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究系前瞻性临床研究，由中国医科大学附属盛京医院伦理委员会批准实施（伦理审查编号：2021PS156J）。前瞻性评估2020年11月至2021年11月入住中国医科大学附属盛京医院PICU的儿童神经危重症患者，根据以下纳入和排除标准，筛选出符合要求的临床病例纳入研究。

纳入标准：（1）年龄28 d至≤14岁；（2）神经危重症患儿，包括颅脑创伤、颅内感染、自身免疫性脑炎、脑血管病、脑肿瘤、难治性癫痫等疾病；（3）患儿家属同意行TCD和腰椎穿刺检查，并签署知情同意书；（4）入院后成功行腰椎穿刺检查并测压，腰椎穿刺测压前2 h内行床旁TCD检查，且2项检查间未应用降颅压药物治疗。

排除标准：（1）先天性脑血管畸形；（2）颅脑创伤损伤了双侧颅骨颞窗部；（3）不能配合TCD检查；（4）有腰椎穿刺禁忌证；（5）呼吸、循环衰竭、脑疝前驱症状者或血流动力学不稳定。

1.2 床旁TCD检测及PI值的计算

（1）检测前评估患儿一般状态，患儿保持安静、平卧位，操作者位于患儿头侧或右侧，利用床旁TCD设备（SONARA/tek，美国）分别检测患儿两侧颞窗大脑中动脉（middle cerebral artery，MCA）脑血流动力学变化，检测时避开刺激性的护理操作。

（2）选用2 Hz探头进行检测，检测前记录患儿心率、血压、经皮血氧饱和度，最近血气中的pH值、氧分压和二氧化碳分压，以及镇痛镇静评分。

（3）通过TCD设备上的图形描记FVs和FVd水

平，每侧MCA检测3次，取3次检测中的最大血流速度计算PI值（此时超声束与血管夹角最小），两侧大脑中动脉PI值取均值计入最终统计分析。

1.3 腰椎穿刺术测量ICP

（1）TCD检测完毕后，嘱患儿侧卧于诊疗床上，背部与诊疗床垂直，助手使患儿头颈部弯向胸部，下肢向腹部屈曲，暴露椎间隙。

（2）婴幼儿选择第4~5腰椎间隙，较大儿童选择第3~4腰椎或第4~5椎间隙进行腰椎穿刺。

（3）碘伏消毒，戴无菌手套，铺无菌洞巾，5%利多卡因局麻后行腰椎穿刺。穿刺成功后，取出针芯，连接无菌测压管，待液柱稳定后，读取压力值。留取脑脊液标本，插上针芯后拔除穿刺针，消毒后盖以消毒纱布，去枕平卧4~6 h。

1.4 统计学分析

采用SPSS 17.0进行统计学分析。正态分布计量资料用均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，非正态分布计量资料用中位数和四分位数间距［M（P_{25}，P_{75}）］或范围表示；满足正态分布且方差齐条件的计量资料采用成组t检验进行组间比较，否则采用Mann-Whitney U检验。计数资料用例数和百分率（%）表示，组间比较采用卡方检验。采用Pearson相关分析法行PI与ICP的相关性分析；采用受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线评价PI判断ICP增高（≥20 mm Hg）的价值。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

2020年11月至2021年11月，共收集56例神经危重症患儿纳入研究，其中男性42例，女性14例；年龄中位数为33个月（范围：1~168个月），体重中位数为14.3 kg（范围：1.8~62.0 kg）；颅内感染、颅脑创伤及脑血管疾病的占比居原发病前3位。患儿一般资料见表1。

2.2 PI与ICP的相关性

收集患儿TCD测量中的PI和ICP值行Pearson相关性分析，结果显示两者呈显著正相关（r=0.536，P<0.001），见图1。将颅脑创伤及颅内感染两类疾病患儿单独进行分析，结果显示颅脑创伤组患儿PI与ICP呈正相关（r=0.655，P=0.029），见图2；颅内感染组患儿PI与ICP无明显相关性（r=0.324，P=0.122），见图3。

表1 56例神经危重症患儿的一般资料

项目	数值
性别 (男/女, 例)	42/14
年龄 [M(P_{25}, P_{75}), 月]	33(16, 96)
体重 [M(P_{25}, P_{75}), kg]	14.3(9.6, 26.0)
原发病 [例(%)]	
颅脑创伤	11(20)
颅内感染	24(43)
脑血管疾病	5(9)
其他#	16(29)
PI ($\bar{x} \pm s$)	1.1 ± 0.3
ICP ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	16 ± 5

注：［PI］搏动指数；［ICP］颅内压。# “其他”包括：自身免疫性脑炎（3例）、脑血管疾病（3例）、颅脑肿瘤（3例）、难治性癫痫（2例）、肝性脑病（2例）、脓毒症脑病（2例）、重症手足口病（1例）。

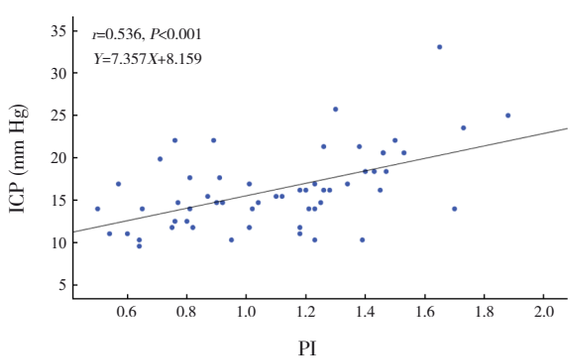


图1 56例神经危重症患儿PI与ICP的相关性

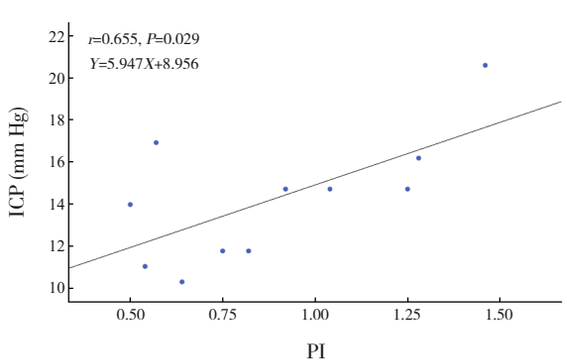


图2 11例颅脑创伤患儿PI与ICP的相关性

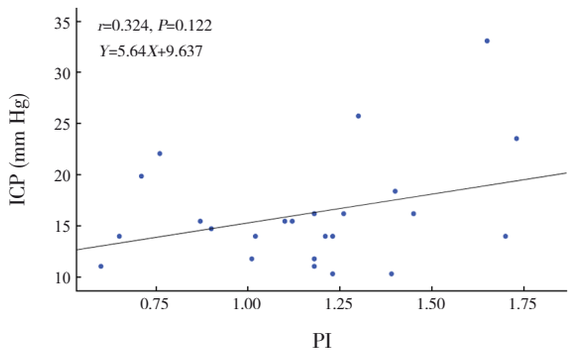


图3　24例颅内感染患儿PI与ICP的相关性

2.3　PI预测ICP的价值分析

按照56例患儿腰椎穿刺检测的ICP是否≥20 mm Hg[1]，将其分为2组进行分析比较，即ICP<20 mm Hg组（44例）和ICP≥20 mm Hg组（12例）。结果显示：2组原发病分布差异有统计学意义（P<0.05），其中ICP≥20 mm Hg组颅脑创伤患儿比例高于ICP<20 mm Hg组，颅内感染患儿比例低于ICP<20 mm Hg组；ICP≥20 mm Hg组ICP和PI均明显高于ICP<20 mm Hg组（P<0.05）。见表2。

表2　ICP<20 mm Hg和ICP≥20 mm Hg两组一般资料的比较

项目	ICP<20 mm Hg组 (n=44)	ICP≥20 mm Hg组 (n=12)	χ^2/Z值	P值
性别 (男/女, 例)	34/10	9/3	0.000	1.000
年龄 [$M(P_{25}, P_{75})$, 月]	33(11, 84)	75(20, 120)	−1.031	0.302
体重 [$M(P_{25}, P_{75})$, kg]	14(10, 25)	29(11, 53)	−1.080	0.280
原发病 [例(%)]				
颅脑创伤	7(16)	4(33)		
颅内感染	23(52)	1(8)	7.472	0.024
其他	14(32)	7(58)		
PI [$M(P_{25}, P_{75})$]	1.02(0.78, 1.23)	1.46(1.27, 1.62)	−3.455	0.001
ICP [$M(P_{25}, P_{75})$, mm Hg]	15(12, 16)	22(20, 25)	−5.285	<0.001

注：［PI］搏动指数；［ICP］颅内压。

ROC曲线分析显示，PI预测ICP是否≥20 mm Hg的ROC曲线下面积为0.828（95%CI：0.677~0.979）。利用约登指数确定ROC曲线最佳临界值，结果显示当PI=1.255时，预测ICP≥20 mm Hg的灵敏度为83.3%，特异度为79.5%，见图4。

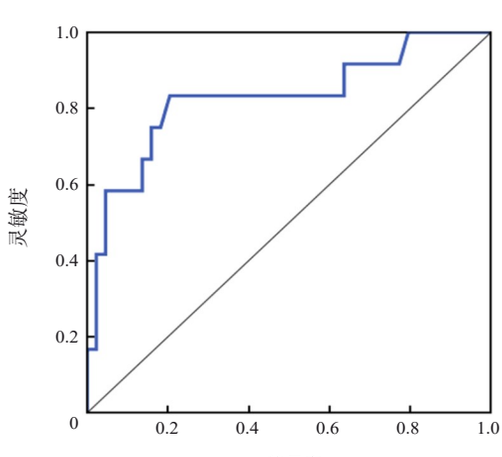


图4　PI预测ICP是否≥20 mm Hg的ROC曲线

3　讨论

目前TCD在PICU中已得到广泛应用，在多种原因诱发的神经危重症患者中均有相关研究报告[5-6, 9-11]。国内外大量研究证实，TCD频谱的变化与ICP存在一定相关性，ICP增高时，TCD波形会出现明显变化，收缩峰变尖，舒张峰变低，PI升高。随着ICP进一步增高，舒张期血流复现，且出现反向血流，称为振荡波。当ICP升高超过收缩压时TCD显示为钉子波，甚至无血流信号。振荡波、钉子波和无血流信号均是评估患儿脑死亡的TCD图像[11-14]。利用不同频率的探头，TCD可以检测颅内外多条血管的血流变化，其中MCA是供应大脑半球最粗的动脉，供应大脑半球80%的血流量，且走形较固定，故本研究中选用MCA血流的变化情况来评估ICP的水平。有研究表明，TCD中的PI数值与ICP密切相关，且在关于儿童TBI患者群体中的研究发现，当PI≥1.3时可考虑ICP>20 mm Hg[15-16]。一些基于PI评估TBI患者ICP具

体数值的公式模型中，公式ICP=4.47×PI+12.68具有较强的适用性，尤其在评估ICP是否大于22 mm Hg时有很好的应用价值，评估误差范围±4.2 mm Hg[17-19]。

本研究纳入的56例神经危重症患儿的疾病种类并未完全局限于TBI，还包括了颅内感染、癫痫或脑血管病。在整体数据的统计分析中发现，PI与ICP两者有较好的相关性。但将颅内感染和颅脑创伤患儿分组比较时，发现颅脑创伤组PI与ICP具有显著相关性，而颅内感染组两者却没有明显相关性。这一统计学结果提示PI可能在ICP水平更高的颅脑创伤患者群体中有更好的应用价值。这可能与入选的颅内感染患儿ICP水平低于颅脑创伤患儿有关，而TCD血流频谱的变化在ICP轻度升高时似乎并不灵敏，FVs及FVd多是形态上的变化，而流速并没有多大变异。由于PI=（FVs-FVd）/FVm，故在正常ICP或轻度升高的ICP患者群体中，PI值与ICP并没有很好的相关性。此外，本研究纳入的颅内感染患儿中有部分化脓性脑膜脑炎患儿，存在一定程度的脑脊液循环吸收障碍，而本研究选择腰椎穿刺测压的ICP结果作为金标准，其测量的结果可能因为脑脊液循环障碍存在一定的偏倚[20]。我们后续的研究将纳入更多的患儿，并将按病因进行更为细致的分类分析，以便得出更准确的结论。

2019年美国关于儿童TBI的诊治指南推荐将儿童TBI患者的ICP控制在20 mm Hg以内，以改善此类患者的预后[1]。因此，本研究将ICP≥20 mm Hg作为儿童神经系统危重症患者是否需要降颅压治疗的节点，利用ROC曲线评估了PI预测ICP≥20 mm Hg的价值和最佳临界值。结果显示，PI在评估儿童神经系统危重症患者ICP是否≥20 mm Hg时具有良好的预测价值，当PI=1.255时，预测ICP≥20 mm Hg的灵敏度为83.3%，特异度为79.5%。这一临界值的确定，有助于临床更便捷地评估儿童神经系统危重症患者的ICP水平。

虽然TCD检测有诸多便利和优势，但仍存在一些缺陷。首先，虽然TCD能较敏感地反映脑血管的情况，但操作者并不能看到颅内血管走形情况与超声束之间的角度，因此降低了重复测量的准确性。其次，TCD检测的指标都是由血流速度所计算和转换所得，其测量结果需要结合影像学的结果综合判断。TCD检查并不能替代有创动脉压监测技术，利用TCD评估ICP仍需不断研究和完善，其检测结果受操作者手法、脑血管、机械通气、镇静及动脉血二氧化碳分压等多种因素影响[5, 21]。因此，对于儿童神经危重症患者的ICP管理和干预治疗中，临床医生需要综合判断患儿的病情和一般状况，结合影像学检查和其他神经学检查做出合理判断。

本研究是一项前瞻性研究，但仍存在局限性。首先，本研究纳入的病例数较少，纳入患儿的年龄跨度也较大，故未能按照儿童年龄段及病因进行详细分组分析，统计分析结果可能存在一定偏倚。其次，在收集的病例中，利用脑室内测压“金指标”监测ICP的病例数偏少，故本研究选用了儿科常用的腰椎穿刺术测压。最后，由于TCD监测本身的局限性，虽然我们选用血流速度最大的结果计算PI，但同一患儿测量的PI结果仍可能存在一定差异。即使如此，本研究仍是关于TCD技术在儿童神经危重症患者群体中临床应用的一项深入探索，有助于儿童神经危重症患者的ICP监测和管理，进而帮助临床医生预测病情和指导治疗。

综上所述，本研究显示，在神经危重症患儿中，床旁TCD检测指标PI与ICP水平呈显著正相关；PI=1.255为最佳临界值，预测患儿ICP≥20 mm Hg的灵敏度为83.3%，特异度为79.5%。采用TCD监测ICP技术可以简单便捷地预测神经危重症患儿ICP变化情况，指导临床治疗和预后评估。该技术未来可能会向持续无创化和多模态化进一步发展，为临床医生提供更大帮助。

［参　考　文　献］

[1] Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, et al. Guidelines for the management of pediatric severe traumatic brain injury, third edition: update of the brain trauma foundation guidelines, executive summary[J]. Pediatr Crit Care Med, 2019, 20(3): 280-289. PMID: 30830016. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001736.

[2] 中华医学会神经病学分会神经重症协作组, 中国医师协会神经内科医师分会神经重症专业委员会. 难治性颅内压增高的监测与治疗中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(45): 3643-3652. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.45.004.

[3] Chesnut R, Aguilera S, Buki A, et al. A management algorithm for adult patients with both brain oxygen and intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC)[J]. Intensive Care Med, 2020, 46(5): 919-929. PMID: 31965267. PMCID: PMC7210240. DOI: 10.1007/s00134-019-05900-x.

[4] Marehbian J, Muehlschlegel S, Edlow BL, et al. Medical

management of the severe traumatic brain injury patient[J]. Neurocrit Care, 2017, 27(3): 430-446. PMID: 28573388. PMCID: PMC5700862. DOI: 10.1007/s12028-017-0408-5.

[5] Millet A, Evain JN, Desrumaux A, et al. Clinical applications of transcranial doppler in non-trauma critically ill children: a scoping review[J]. Childs Nerv Syst, 2021, 37(9): 2759-2768. PMID: 34244843. DOI: 10.1007/s00381-021-05282-w.

[6] LaRovere KL, O'Brien NF, Tasker RC. Current opinion and use of transcranial doppler ultrasonography in traumatic brain injury in the pediatric intensive care unit[J]. J Neurotrauma, 2016, 33(23): 2105-2114. PMID: 26983462. DOI: 10.1089/neu.2015.4344.

[7] Zeiler FA, Cardim D, Donnelly J, et al. Transcranial doppler systolic flow index and ICP-derived cerebrovascular reactivity indices in traumatic brain injury[J]. J Neurotrauma, 2018, 35(2): 314-322. PMID: 29050524. DOI: 10.1089/neu.2017.5364.

[8] Rollet-Cohen V, Sachs P, Léger PL, et al. Transcranial doppler use in non-traumatic critically ill children: a multicentre descriptive study[J]. Front Pediatr, 2021, 9: 609175. PMID: 34277513. PMCID: PMC8282928. DOI: 10.3389/fped.2021.609175.

[9] Martí-Fàbregas J, Belvís R, Guardia E, et al. Prognostic value of pulsatility index in acute intracerebral hemorrhage[J]. Neurology, 2003, 61(8): 1051-1056. PMID: 14581663. DOI: 10.1212/01.wnl.0000090520.67254.14.

[10] Alkhoury F, Kyriakides TC. Intracranial pressure monitoring in children with severe traumatic brain injury: national trauma data bank-based review of outcomes[J]. JAMA Surg, 2014, 149(6): 544-548. PMID: 24789426. DOI: 10.1001/jamasurg.2013.4329.

[11] Ducharme-Crevier L, Mills MG, Mehta PM, et al. Use of transcranial doppler for management of central nervous system infections in critically ill children[J]. Pediatr Neurol, 2016, 65: 52-58.e2. PMID: 27743745. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2016.08.027.

[12] Bennett TD, DeWitt PE, Greene TH, et al. Functional outcome after intracranial pressure monitoring for children with severe traumatic brain injury[J]. JAMA Pediatr, 2017, 171(10): 965-971. PMID: 28846763. PMCID: PMC5710627. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2017.2127.

[13] 国家卫生健康委员会脑损伤质控评价中心. 中国儿童脑死亡判定标准与操作规范[J]. 中华儿科杂志, 2019, 57(5): 331-335. PMID: 31060123. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2019.05.003.

[14] 钱素云, 王荃, 宿英英. 中国儿童脑死亡判定标准与操作规范解读[J]. 中华儿科杂志, 2019, 57(11): 826-829. PMID: 31665835. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2019.11.003.

[15] O'Brien NF, Maa T, Reuter-Rice K. Noninvasive screening for intracranial hypertension in children with acute, severe traumatic brain injury[J]. J Neurosurg Pediatr, 2015, 16(4): 420-425. PMID: 26140576. DOI: 10.3171/2015.3.PEDS14521.

[16] Melo JR, Di Rocco F, Blanot S, et al. Transcranial doppler can predict intracranial hypertension in children with severe traumatic brain injuries[J]. Childs Nerv Syst, 2011, 27(6): 979-984. PMID: 21207041. DOI: 10.1007/s00381-010-1367-8.

[17] Budohoski KP, Schmidt B, Smielewski P, et al. Non-invasively estimated ICP pulse amplitude strongly correlates with outcome after TBI[J]. Acta Neurochir Suppl, 2012, 114: 121-125. PMID: 22327676. DOI: 10.1007/978-3-7091-0956-4_22.

[18] Cardim D, Robba C, Donnelly J, et al. Prospective study on noninvasive assessment of intracranial pressure in traumatic brain-injured patients: comparison of four methods[J]. J Neurotrauma, 2016, 33(8): 792-802. PMID: 26414916. PMCID: PMC4841086. DOI: 10.1089/neu.2015.4134.

[19] Bellner J, Romner B, Reinstrup P, et al. Transcranial doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP) [J]. Surg Neurol, 2004, 62(1): 45-51. PMID: 15226070. DOI: 10.1016/j.surneu.2003.12.007.

[20] Fonseca Y, Tshimanga T, Ray S, et al. Transcranial doppler ultrasonographic evaluation of cerebrovascular abnormalities in children with acute bacterial meningitis[J]. Front Neurol, 2020, 11: 558857. PMID: 33643174. PMCID: PMC7907511. DOI: 10.3389/fneur.2020.558857.

[21] 卢志超, 刘春峰. 经颅超声多普勒在PICU的临床应用[J]. 中国小儿急救医学, 2017, 24(11): 859-863. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2017.11.014.

（本文编辑：邓芳明）